

UNIVERSITE DE KISANGANI

FACULTE DES SCIENCES

Département d'Ecologie et
Conservation de la Nature



**TOLERANCE DIFFERENTIELLE
DE QUELQUES LEGUMINEUSES DES JACHERES
AMELIORANTES AUX FACTEURS D'ACIDITE
DU SOL.**

Par

Simon TOBOTELA-NGELENGO.

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du titre
de Licencié en Sciences.

Option : **Biologie.**

Orientation : **Phytosociologie et
Taxonomie végétale.**

Directeur : **Prof.Dr.S.GAKURU.**

Encadreur : **Assistant ONGENDANGENDA.**

Année Académique 1998-1999.

DEDICACE

- A tous ceux qui craignent l'Eternel;
- A mes parents;
- A mes frères et ma soeur Marie;
- A mon épouse Ado LIBANGI-ATCHASEA;
- A mes enfants, Maguy TOBOTELA et Marie TOBOTELA;
- A mon cousin Gabi ZUZI;
- A mon beau-père LIBANGI KITOKO;
- A tous les amis du savoir;

Je dédie ce mémoire.

= Simon TOBOTELA - NGELENGO =

AVANT - PROPOS

Au terme de ce travail, nous tenons d'abord à remercier le Tout-Puissant à cause de son amour et ses bienfaits dont nous étions bénéficiaire durant le long cycle de licence à l'Université de Kisangani.

Nos sincères et profonds remerciements s'adressent au Professeur Dr. S. GAKURU qui, a accepté dès notre premier contact, de diriger notre mémoire.

Nous remercions .. l'assistant ONGENDANGE-NDA qui, s'est donné la peine de nous encadrer dans ce travail.

Nous n'oublions pas de remercier les C.T. BOLA et MATE de leurs conseils pertinents pendant le début de notre travail.

Nos remerciements s'adressent aussi à tous ceux qui de loin ou de près ont contribué moralement, financièrement et matériellement à la réalisation de ce travail, il s'agit de:

- Pasteur Géorges LIBANGI KITOKO
- Pasteur Germain LOBELA YENGA
- Diacre Faustin TOENGAO LOKUBDO
- Diacre Célestin BOOMBE
- Diacre Simon-Laurent IKENGE
- Diacre LOTITI KIMOTO
- Frère Jean BAMBALATIWE
- Frère ~~IN~~AFRA
- Diacre SELEMANI BOLINGAMA Jérôme
- Frère MATIKALI Diaz
- Rév. Pasteur Victor BAENGENGA LIOSO
- Frère J.P. KIBAYA
- Frère ETIS

Nos remerciements s'adressent également au Professeur H. Gevaerts et au Gouverneur de la Province pour le don de papiers.

Que le personnel académique et scientifique de la Faculté des Sciences et plus particulièrement Messieurs MAHINDO, BOFILELO et le regretté Papa BALANGA qui repose son âme dans la terre des ancêtres, trouvent ici pour le service rendu, l'expression de nos vifs remerciements.

A tous les professeurs, C.T et assistants qui nous ont dispensé les cours et encadré durant notre formation à l'Université de Kisangani, nous leur disons merci.

A mes chers parents, Rév. Pasteur TOBOŃ TELA LIUNANGWA et Maman E.MUSA-Miriam pour avoir contribué à notre formation et pour l'affection qu'ils ont toujours témoignée en notre personne, qu'ils trouvent ici l'expression de nos sincères remerciements.

Nous sommes heureux de témoigner nos sentiments de reconnaissance à mes frères et ma soeur pour leur attachement et leur encouragement à notre endroit.

Nous reconnaissons également notre dette morale envers mon épouse LIBANGI ATCHASEA mère ADO et à mes deux enfants: Maguy TOBOTELA et Marie TOBOTELA pour leur patience pendant nos études.

Nous ne pouvons passer inaperçu la contribution du couple ZWZI-BATETHIATO pour notre formation intellectuelle; qu'il trouve ici l'expression de nos sincères remerciements.

Nous n'oublions pas enfin tous les camarades étudiants de la promotion avec qui, nous avons partagé ensemble les joies et les souffrances et dont les noms ne se trouvent pas repris sur cette page; qu'ils croient sincèrement à nos sentiments de reconnaissance, d'amitié et de confiance.

= Simon TOBOTELA-NGELENGO =

RESUME

Les sols des régions tropicales sont acides. Cette acidité est principalement causée par l'aluminium et le manganèse; nous avons essayé grâce à la méthode mise au point par WILKINS (1957) à différencier quelques légumineuses pour la tolérance à l'aluminium, au manganèse et aux ions hydrogènes.

Il ressort de nos expériences que Sesbania sesban (L) Merril et Leucaena leucocephala (Lam.) Dewit se sont révélées plus performantes et pourraient être utilisées comme cultures en allées dans les jachères améliorantes, tandis que Cajanus cajan (L.) Millsp., Millettia versicolor Welw et Bak. et Albizia chinensis (Osbeck) Merril n'ont pas présenté de bonnes performances aux facteurs d'acidité du sol.

Nous souhaitons que la méthode de WILKINS soit vulgarisée à partir des milieux scientifiques, enfin de différencier les espèces végétales propices pour nos types de sols.

Mots clés: Acidité, légumineuses, performance.

ABSTRACT.

The soil of tropical areas are acid. This acidity is principally caused by the aluminium and the manganese; we have tried with the method put in point by WILKINS (1978) to differentiate some vegetative for the tolerance to aluminium, to manganese and to hydrogen ions.

It's evident from our experiences that Sesbania sesban (L) Merril and Leucaena leucocephala (Lam) Dewit are revealed more performant and would must be used as alley crops in ameliorated fallow, where as cajanus cajan (L.) Millsp., Millettia versicolor Welw. and Bak. and Albizia chinensis (Osbeck) Merril have n't presented the good performances to acidity factors of soil.

We would wish that the method of WILKINS must be vulgarized from scientific media lastly to differentiate the vegetal propitious species for types of soils.

World keys: Acidity, vegetative, performance.

CHAPITRE I : INTRODUCTION.

I.1. PRESENTATION DU SUJET

D'après FOY (1976), les sols des régions tropicales sont acides. Cette acidité s'accompagne d'une toxicité de l'aluminium et parfois du manganèse. à laquelle les plantes sont confrontées,

L'aperçu de la géologie, de la géomorphologie, du climat de la région tropicale montre que cette acidité affecte la fertilité de nos sols, qui sont considérés comme des sols pauvres. La pauvreté est essentiellement due entre autres, aux précipitations abondantes et continues conduisant au lessivage des cations basiques et aussi aux effets de rayonnement incident agissant sur les sols. Pour une augmentation de la production agricole, ces sols nécessitent des espèces ayant un seuil de tolérance élevé aux facteurs d'acidité. Les recherches dans ce domaine paraissent prioritaires pour la solution idéale à ce problème.

Dans ^{de} nombreux pays des régions tropicales, la plupart des types d'agriculture primitive se rattachent à l'agriculture itinérante sur brûlis. Ce système qui consiste à abattre et à brûler le sous-bois et les arbustes d'une parcelle, à dégager le sol et à semer une ou plusieurs plantes cultivées, conduit le plus souvent à un appauvrissement rapide du sol, à l'abandon de l'exploitation et au défrichement d'une nouvelle parcelle. Ainsi, les cycles culturaux courts d'un à deux ans sont alternés de longues jachères préforestières de six ans ou plus, ce qui permet de reconstituer la fertilité des sols (Nye, 1958, in Mosango, 1994).

Pour pallier à cette destruction des forêts, les scientifiques orientent leurs recherches sur la technique des jachères améliorantes.

Actuellement, la forêt dense équatoriale, en général, et celle de ^{la} République Démocratique du Congo en particulier, est de plus en plus soumise au déboisement et

à la culture. La situation économique actuelle n'y permet ni la production, ni l'importation d'engrais azotés. Il nous paraît donc essentiel de chercher, tant pour des raisons économiques qu'écologiques, les méthodes efficaces, moins coûteuses, faciles, plus naturelles qui permettent de pallier à cette situation. La recherche des plantes intéressantes en agriculture qui sont capables de fixer l'azote atmosphérique et le mettre à la disposition des cultures vivrières est une priorité. Il est opportun d'orienter des études sur l'interaction plante-sol en vue de déceler le milieu préférentiel.

Le noeud de la présente étude est de mettre en évidence la tolérance aux facteurs d'acidité du sol, de quelques légumineuses utilisées ^{comme cultures} en allées à Kisangani. Le test d'élongation racinaire en solution nutritive a été utilisé.

I.2. HYPOTHESES DE TRAVAIL

Une espèce végétale peut manifester des variations morphologiques suivant les conditions du milieu dans lequel elle vit. Ainsi, le niveau de tolérance des espèces de légumineuses aux facteurs d'acidité du sol peut s'exprimer en relation avec entre autres:

- La biomasse développée par les espèces,
- Le rythme de croissance,
- Quelques caractères phénotypiques:
 - L'élongation racinaire en solutions toxiques
 - La capacité de modifier le p^H de solutions nutritives toxiques ou non.

A l'issue de cette étude, nous devrions nous attendre que les espèces tolérantes aux facteurs d'acidité des sols aient une biomasse aérienne, une biomasse souterraine et un accroissement racinaire relativement plus élevés.

I.3. DEFINITION DES CONCEPTS.

Résistance - Tolérance.

(DUVIGNAUD, P et DENAEYER-DE SMET (1973)).
Selon certains auteurs, les termes de résis-

stance ou tolérance sont souvent utilisés indifféremment. Pour d'autres, ils correspondent à deux phénomènes essentiellement différents: la résistance de l'organisme à une accumulation toxique de certains éléments dans le milieu extérieur et la tolérance de l'organisme à un excès d'éléments toxiques dans les cellules de la plante.

Nous nous joignons comme GAKURU 1988 au point de vue de SIMON et LEFEBVRE (1997) qui considèrent qu'au sens de la résistance et tolérance donné par DUVIGNEAUD et DENAEYER-DE SMET (1973), la technique de l'indice de tolérance mise au point par WILKINS (1957) et utilisée dans le chapitre s'y rapportant correspond donc plutôt à une mesure de la résistance. Cependant le métal toxique du milieu extérieur pénètre dans les organes des plantes qui ont dès lors à manifester éventuellement une tolérance. Nous maintenons avec SIMON et LEFEBVRE le terme de tolérance en vue d'en référer exactement à la technique de WILKINS.

Légumineuses.

D'après PENNINCKX (1994), les légumineuses sont reconnues comme de plantes fixatrices d'azote. Les nodules symbiotiques des légumineuses sont infectés par des bactéries du genre Rhizobium. De nombreuses espèces de plantes ligneuses pérennes sont représentées dans les familles de plantes fixatrices d'azote mais la plupart sont des légumineuses, soit arbres ou buissons. On estime actuellement à 4 500 le nombre de légumineuses fixatrices sur un nombre total probable de plus de 6 000 plantes fixatrices. Ces espèces de légumineuses sont principalement tropicales en ce qui concerne en particulier les caesalpinoides et Mimosides dont l'habitat est restreint aux plaines, les papilionoïdes étant des habitants typiques de la forêt pluviale. Ces espèces végétales fixatrices ont une large tolérance vis-à-vis de l'acidité et l'engorgement des sols par l'eau.

Selon SINSIN, 1994, le type d'agroforesterie le plus étudié et probablement le plus facilement vulgarisable

est la culture en couloir où les cultures sont installées entre des haies d'arbustes, généralement des légumineuses fourragères. La culture en couloir a entre autres avantages: - de maintenir ou d'améliorer la fertilité du sol par le recyclage des éléments biogènes; de produire de la matière organique, des bois de feu ou du bois utilisable à d'autres fins;- de produire du paillis et du fourrage;- de lutter contre les mauvaises herbes entre deux saisons: culturales quand le couvert ligneux est fermé;- de favoriser l'activité biologique des sols;- de servir de barrière anti-érosive et de brisevent.

Facteurs d'acidité.

D'après GAKURU (1988), les principaux facteurs d'acidité de sol sont l'aluminium et le manganèse. Ils sont uns des facteurs limitant le développement des plantes dans les sols acides. La toxicité aluminique est particulièrement sévère en dessous du $p^H_{\text{eau}} 5,0$, tandis que la toxicité manganique ne se produit pas au-dessus de $p^H 6,5$, sauf conditions rares de grande richesse en manganèse.

DUCHAUFOUR (1970) indique^{que} les cations dominants dans quelques types de sol en relation avec le pH et le taux de saturation.

Les ions H^+ se retrouvent en exclusivité au pH 3 à 4, le pH 4 à 4,5 est le domaine des ions H^+ et Al^{+++} , les ions Al^{+++} se retrouvent aussi au pH 4,5 à 5. Les ions Ca^{++} et $Al(OH)^{++}$ occupent le domaine suivant, du pH 5 à 6, et celui du pH 7 à 7,5 est dominé par le Ca^{++}

I.4. ROLE DE L'ALUMINIUM ET DU MANGANESE DANS LES PLANTES.

1. Aluminium.

Selon PREVEL et al. (1984) in GAKURU (1988), L'aluminium n'exerce pas de rôle utile connu chez les plantes. Mais à très faible dose, il stimule le développement.

Ce sont les racines qui sont les premières à souffrir, car l'aluminium s'y accumule alors que les teneurs

augmentent moins dans les parties aériennes (SEGALEN, 1973, 1973).

Etudiant la morphologie des racines du blé dans une solution nutritive à 9ppm Al au microscope électronique, HECHT-BUCHHOLZ et FOY, 1981, constatent que les variétés ont des racines courtes, brunes au sommet et l'inhibition des racines latérales est plus précoce pour les variétés sensibles. Pour les variétés résistantes, le changement apparaît beaucoup plus tard.

Certaines toxicités sont liées au pH du sol notamment la toxicité d'aluminium qui est très importante à de pH inférieur à 4 et qui persiste jusqu'à pH 5.

2. Manganèse

Dans son comportement chimique, Mn a des propriétés voisines de celles des alcalino-terreux Ca^{++} et Mg^{++} et des métaux lourds Zn et Fe. C'est pourquoi ces cations peuvent affecter l'absorption et la translocation de Mn dans la plante.

Selon RHODES, 1978? L'excès ou la toxicité manganique apparaît dans les sols gorgés d'eau et à faible pH.

Contrairement à l'Al, la toxicité manganique se manifeste usuellement d'abord dans les feuilles et les racines peuvent être endommagées, mais ce n'est qu'après les feuilles (BARTUSKA et UNGAR, 1980).

D'après LOUE, 1986, la toxicité manganique ne se produit pas au-dessus de pH 6,5, sauf conditions rares de grande richesse en manganèse.

1.5. BUT ET INTERET DU TRAVAIL.

Le but poursuivi dans ce travail est donc

de voir des cinq espèces prometteuses, lesquelles tolèrent mieux nos types des sols qui sont en principe acides. Cette étude nous conduira à différencier les cinq espèces pour la tolérance à l'acidité du sol autrement dit pour la tolérance à l'Al et au Mn.

L'intérêt pratique du présent travail réside du fait que, les efforts actuels tendent à substituer l'agriculture itinérante sur brûlis par l'agriculture en couloirs plus permanente, plus productrice et protégeant l'environnement. Les résultats positifs qui se révéleront à l'issue de ces expériences, pourront être recommandés aux agriculteurs. On éliminera ce faisant le problème d'adaptation aux sols acides des plantes améliorantes, ce qui a pour effet de rendre plus performant le système agroforestier et d'envisager sans appréhension le transfert de cette technologie en milieu paysan (BOLA et KAMABU, 1994). Et en outre ^{La pratique d'agriculture en couloirs pourra} favoriser la reforestation des Zones dégradées. La mise en place de ce type de cultures dans les Zones tampons autour des parcs nationaux ainsi que des forêts menacées de déboisement permettrait d'y remédier l'impact de l'activité anthropique et de garantir leur protection (MOSANGO, 1994).

Le présent travail constitue une contribution à la génétique écologique.

I.6. TRAVAUX ANTERIEURS.

Andrew, 1976 in GAKURU (1989) a comparé la tolérance au manganèse de quelques espèces de légumineuses en milieu hydroponique. Nyamangombe, Lefebvre, 1975 et Gakuru 1988, ont montré par la même méthode, l'existence d'une différenciation variétale du maïs pour la tolérance à l'aluminium et au manganèse.

GAKURU (1994) a étudié les plantes améliorantes sur le plan génécologique. En effet, il a analysé la tolérance différentielle à l'acidité du sol de 4 espèces de légumineuses des jachères améliorantes.

LUPUKI, 1994 A étudié quant à lui le comportement de quelques légumineuses fixatrices d'azote vis-à-vis du caractère acide.

KUTAKA (1990) a étudié, la comparaison de la Tolérance à l'acidité des sols de quelques légumineuses des jachères améliorantes.

CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODES.

Toutes nos expériences se sont déroulées au laboratoire de Botanique et Phytoécologie de la Faculté des Sciences de l'université de Kisangani.

II.1. MATERIEL.

II.1.1. Matériel biologique

Les expériences réalisées ont porté sur les graines de cinq espèces de légumineuses récoltées à Kisangani et ses environs du 17/04 au 30/06/1999. Ces espèces sont les suivantes:

1. Albizia chinensis (Osbeck) Merril (Mimosaceae).
2. Cajanus cajan (L) Millsp. (Fabaceae).
3. Leucaena leucocephala (Lam.) Dewit. (Mimosaceae).
4. Millettia versicolor Welw. ex. Bak. (Fabaceae).
5. Sesbania sesban (L) Merril (Fabaceae).

Les familles précitées (Fabaceae et Mimosaceae) appartiennent à l'ordre des Fabales, dans la sous-classe des Rosidae, classe des Magnoliopsida, sous-embranchement de Magnoliophytina et l'embranchement des Spermatophyta.

. Description des espèces étudiées et leur importance.

1. Albizia chinensis (Osbeck) Merril., est originaire de la Malaisie. Elle fut introduite au Congo Belge jusqu'à 1.400 m d'altitude (MATE, SHUTSA et KAMABU, 1994).

C'est un arbre géant allant jusqu'à 35 m de hauteur. Les feuilles sont composées bipennées; les jeunes feuilles sont rougeâtres. Les stipules sont grandes, asymétriques à la base, foliacées ou rougeâtres, cordées à la base, mucronées au sommet, de 2 - 3 cm de long et rapidement caduques.

Les inflorescences^{sont} en capitules solitaires, fasciculées ou groupées en racèmes; fleurs sessiles, à calice pubérulent et mesurant 3 mm de long, corolle de 5 - 8 mm de

long, pubérulent; gousses oblongues, aplaties, coriaces, glabres.

Dupriez et De Leener (1993), ont reconnu cette espèce comme ayant un rôle fertilitaire parmi d'autres.

Les résultats obtenus par MATE et Al (1994) prouvent que l'espèce Albizia chinensis est performante. Son introduction dans les sous-Régions de Kisangani et de la Tshopo dans le système de cultures en allées s'avère indispensable.

2. Cajanus cajan (L). Millsp., est originaire d'Afrique où on le trouve d'ailleurs à l'état sauvage ou subsponané (KUTAKA, 1990).

La plante est sous-frutescente de 1,5 à 3 m de haut, ramifiée, vert-grisâtre, à feuille trifoliolée. Les variétés de grande taille sont sensibles à la photopériodicité, elles préfèrent les journées courtes.

Dupriez et De Leener (1993) ont reconnu cette espèce comme ayant un rôle fertilisant non négligeable parmi d'autres légumineuses.

KAMABU et LEJOLY, 1994, ont reconnu en fait le pois cajan comme plante améliorante.

3. Leucaena leucocephala (Lam). Dewit, est originaire d'Amérique Centrale. Elle est une légumineuse vivace, arbustive, pouvant atteindre 10 m de haut ou plus, les feuilles sont composées bipennées, les inflorescences sont en glomérules de couleur jaune à blanche, les graines sont légères.

Cette plante a une capacité de régénération rapide; elle est très productive, en feuilles, fleurs, gousses et brindilles. La phytomasse aérienne sèche d'une haie de Leucaena leucocephala de 11 mois a été évaluée à 53t/ha. Les tailles successives, presque bisannuelles de cette plante, aboutissent à une productivité primaire aérienne de 9,7 t/ha/ an de matière sèche (KAMABU et LE JOLY, 1994).

Cette légumineuse possède un rhizobium hautement spécifique. D'où l'intérêt de l'inoculation. Cette espèce s'est adaptée dans beaucoup de régions tropicales.

Les analyses chimiques ont montré que les teneurs en azote sont particulièrement élevées pour les folioles qui atteignent 4,5 % de la matière sèche; celles des rameaux complets atteignent 2,1 % de la matière sèche (KAMABU et LEJAY, 1994).

Outre la production de fourrage de qualité Leucaena Leucocephala peut fournir du bois à brûler, de la pâte à papier, du bois d'oeuvre ...

Elle est aussi classée parmi les espèces mellifères des régions sèches. (DARRIEZ et DeLeener 1993)

4. Millettia versicolor Welw. ex. Bak.

C'est un arbre géant atteignant jusqu'à 30 m de haut, plus souvent de 8-10m et 4-8cm de diamètre; écorce se desquamant en bandes. Les feuilles sont **composées** imparipennées, pétiolées, à rachis de 9-16 cm de long, velu; limbe oblong-elliptique ou ovale, assez longuement atténué vers l'acumen très étroit et fragile.

Les inflorescences sont en panicules simples; fleurs solitaires; bractéoles et bractées de base très caduques. Corolle mauve avec tache jaune sur l'étendard; étamines diadelphes. Les gousses sont oblongues ou obovales, acuminées, fortement marginées, densément veloutées, brunes d'abord puis jaunes.

NYAKABWA (1976), a classé cette légumineuse comme plante ornementale et d'ombrage, souvent plantée en clôture. Son bois nommé bois d'or est utilisé en ébénisterie, en sculpture et sert à faire des arcs.

5. Sesbania sesban (L) Merrill

Plante généralement annuelle ou bisannuelle, ligneuse. Feuilles à stipules lancéolés ou de forme plus étroite, caduques, parfois persistantes et contortées. Fleurs à pédicelle de 5-15 mm de long; gousses droites ou légèrement arquées, souvent légèrement tordues; rostre dépassant rarement 1 cm de large. Graines de 3-4 mm de long.

Au Kenya occidental, le sesbania sesban est régulièrement associé au maïs. Cet arbuste, qui est une légumineuse, est semé en même temps que la céréale. Les jeunes plants qui ont levé en surnombre sont enfouis lors du premier sarclage; ils sont utilisés comme engrais verts. Quelques pieds sont laissés dans le champ pour la semence.

II.1.2. Autre matériel.

Pour ce travail, nous avons aussi utilisé le matériel suivant:

- une latte graduée, pour faire nos mesures ou encore pour mesurer l'accroissement racinaire,
- un pH mètre SCHOTT CG 838 pour mesurer le pH des solutions nutritives avant et après le test,
- une balance METTLER 1.200, pour connaître le poids frais des racines et les poids sec et frais des parties aériennes de différentes espèces testées,
- l'étuve, pour sécher les parties aériennes et les racines de différentes espèces étudiées,
- papiers filtre,
- lame de rasoir pour sectionner les parties des plantules,
- Pipette graduée pour le prélèvement des solutions,
- Rouleaux en carton, pour soutenir les plantules dans la solution nutritive,
- plateaux en plastic,
- Pots en plastic.

II.2. METHODES.

Selon MOORE et al (1976), la sélection par la technique de solutions nutritives est considérée comme plus

précise car les variables importantes sont contrôlées. Elle a été mise au point par WILKINS (1957) en mesurant la tolérance au plomb d'une graminée, Festuca ovina. Cette méthode a été utilisée avec succès par de nombreux chercheurs.

Quant à la méthode, elle consiste à établir un indice de tolérance qui est le rapport de l'accroissement racinaire en solution toxique par rapport à celui en solution témoin.

II.2.1. Dispositif expérimental.

Les graines récoltées ont été mises à germer pendant 6 jours à la température ambiante du laboratoire, sur des plateaux en plastique couverts d'un papier filtre humidifié chaque jour par de l'eau distillée. Suite à la difficulté de faire germer certaines graines dures, nous avons procédé à l'ébouillantage, qui est une technique permettant d'accélérer la germination. L'objectif consiste à ramollir la coque de la graine et de la rendre plus perméable à l'eau. On trempe les graines dans l'eau chaude ($\pm 70^\circ\text{C}$) pendant quelques minutes. Nous avons procédé à l'ébouillantage de Albizia Chinesis pendant 6 minutes et de Leucaena leucocephala pendant 5 minutes. Le temps était fonction de la dureté des graines. Après germination, les graines à faible développement racinaire étaient éliminées. La longueur de la racine principale était mesurée au mm près avant que les plantules ne soient placées dans les pots contenant des solutions nutritives. Les racines d'une dizaine de plantules étaient enroulées dans un papier filtre afin de favoriser l'absorption des éléments et de l'eau et le tout a été soutenu par un rouleau en carton. Cette méthode appelée "Ragdoll" a été proposée par KONZAK et al. (1976). La solution nutritive préconisée par RHUE et GROGAN (1976) a été utilisée.

Pour apprécier la tolérance de cinq espèces testées à l'al⁺⁺⁺, au Mn⁺⁺ et aux ions H⁺, nous avons considéré le pH final des solutions nutritives et l'accroissement

des racines nous a permis de calculer les indices de Tolérance. L'indice de tolérance (It) se définit comme suit:

$$It = \frac{\text{Accroissement radiculaire en solution toxique}}{\text{Accroissement radiculaire en solution non toxique}} \times 100$$

Nous avons mesuré l'accroissement parallèlement sur deux échantillons, l'un dans la solution nutritive toxique et l'autre dans la solution témoin.

Pour nous permettre d'apprécier la tolérance de cinq espèces de légumineuses proposées aux facteurs d'acidité du sol; les paramètres ci-après ont été pris en compte:

- l'étude de l'écart-type (s) utilisé en statistique pour caractériser la dispersion des valeurs autour de la moyenne. La valeur de l'écart-type a été calculée par la formule.

$$s = + \sqrt{\frac{\sum y^2}{n} - \bar{y}^2}$$

dont : y = variable

n-1 = nombre d'échantillons moins 1

-le coefficient de variation (V) qui a comme formule

$$V = \frac{s}{\bar{x}} \times 100$$

s = écart-type
x̄ = moyenne

-le pH de la solution nutritive. Notons que, pour ces expériences, le traitement principal est le pH et le traitement secondaire, les espèces de légumineuses;

- le poids sec des parties aériennes de différentes espèces a été obtenu après un séjour de 10 jours à l'étuve et cela à une température de $\pm 70^\circ$ C. Pour calculer les poids relatifs par rapport au témoin (pH 6,8), on procède comme suit pour les différents paramètres:

- Poids frais des parties aériennes par rapport au témoin (P.F.A_T):

$$! \text{ P.F.A.}_T = \frac{\text{P.F.A. (solution toxique)}}{\text{P.F.A. (témoin)}} \times 100 !$$

! P.F.A.: Poids frais des parties aériennes.

- Poids relatif sec des parties aériennes par rapport au témoin (P.S.A_T):

$$! \text{ P.S.A.}_T = \frac{\text{P.S.A. (solution toxique)}}{\text{P.S.A. (témoin)}} \times 100 !$$

! P.S.A.: Poids sec aérien.

- Poids relatif frais des parties racinaires par rapport au témoin (P.F.R_T):

$$\begin{array}{l} \text{!} \quad \text{P.F.R. (solution toxique)} \quad \text{!} \\ \text{!} \quad \text{P.F.R.}_T = \frac{\text{P.F.R. (solution toxique)}}{\text{P.F.R. (témoin)}} = \text{!} \\ \text{!} \quad \text{P.F.R. (témoin)} \quad \text{!} \end{array}$$

P.F.R.: Poids frais racinaires.

II.2.2. PREPARATION DE LA SOLUTION NUTRITIVE.

La solution nutritive a été préparée d'après RHUE et GROGAN (1976). Pour avoir la solution avec Al comme élément toxique, on ajoute $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 7,5 mM dans la solution nutritive, concentration ayant permis à KONZAK et al. (1976), de différencier des sojas tolérants et non tolérants à l'aluminium. Le pH de la solution est de 4,8. La toxicité manganique a été obtenue en ajoutant 600 ppm de Mn sous forme de $\text{Mn SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Le pH de la solution est de 5,2. Enfin, le pH du témoin acide (avec ions H^+) a été obtenu en ajustant le pH à l'aide du KOH 0,1N et de H_2SO_4 . Le pH était de 6,8.

Nous avons donc quatre traitements: solution toxique avec Al, solution toxique avec Mn, solution toxique contenant les ions H^+ et enfin la solution témoin.

Les plantules sont maintenues en solutions nutritives pendant 7 jours.

Tableau 1 : Composition de la solution nutritive d'après RHUE et GROGAN (1976).

<u>Macroéléments (mM/l)</u>		<u>Microéléments ($\mu\text{M}/\text{l}$)</u>	
Ca $(\text{NO}_3)_2$	1,0	Mn SO_4	2,0
Mg SO_4	0,5	Cu SO_4	0,3
KNO_3	0,05	Zn SO_4	0,8
KH_2PO_4	0,1	Na Cl	30,0
		Fe CDTA	10,0
		Na_2MoO_4	0,3
		H_3BO_3	10,0

Par manque de FeCDTA, nous avons ajouté 5 ppm de fer sous forme de $\text{Fe SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION.

III.1. pH final de la solution nutritive.

Les pH des solutions nutritives avant et après l'expérimentation sont consignés au tableau 2.

Le pH de départ était pour les solutions témoins de 6,8 et de 4,8 pour les solutions toxiques avec ions Hydrogènes (H^+) et avec l'aluminium.

Quant à celles avec le Mn, le pH était de 5,2.

A la fin de l'expérimentation:

- Pour le pH de la solution nutritive avec ions H^+ : toutes les espèces ont fait remonter le pH d'une même grandeur, soit plus ou moins 2 unités.
- Pour le pH de la solution nutritive avec l'Al, l'augmentation du pH est en ordre décroissant: cajanus cajan (1,07), Millettia versicolor (0,95), Sesbania sesban (0,66) et Leucaena leucocephala (0,66).

Il est connu que les individus tolérants font remonter le pH après un temps dans la zone des racines en présence d'éléments toxiques et de bas pH (FOY, 1976). Cajanus cajan serait donc plus tolérant d'après ce critère et Leucaena leucocephala moins tolérant.

Quant aux solutions nutritives avec le Mn, la variation du pH se présente de la manière ci-après: Sesbania sesban: 2,91 unités, Cajanus cajan: 2,57, Albizia chinensis: 2,38 et enfin Millettia Versicolor: 2,24.

III.2. Tolérance aux ions hydrogènes.

Les indices de tolérance aux ions hydrogènes des espèces étudiées sont consignées au tableau 3.

Quant à l'indice de tolérance (It) aux ions H^+ , il varie de 44 à 90. Millettia versicolor et Cajanus cajan possèdent respectivement les It de 90 et 72 %. Albizia chinensis et Leucaena leucocephala ont le plus bas It en milieu acide. Pour Sesbania sesban, l'It n'a pas été pris (Cfr. Tableau 3). KUTAKA, 1990, a trouvé que Leucaena leucocephala possède l'indice le plus bas en milieu acide. Nos résultats le confirment amplement.

Il ressort des résultats du tableau 4 que le poids frais de la partie aérienne par rapport au témoin (P.F.A_T) varie de 27 à 106 %. Leucaena leucocephala et Millettia versicolor ont respectivement 106 et 81 %. Par contre, Albizia chinensis a le plus bas P.F.A_T, soit 27 % en milieu acide. (Tableau 4).

Enfin, le poids sec aérien relatif au témoin (P.S.A_T) varie de 16 à 116%. Leucaena leucocephala, Cajanus cajan et Millettia versicolor ont respectivement les P.S.A_T de 116, 89 et 83 %. Albizia chinensis a le plus faible P.S.A.T. soit 16%.

Nous avons remarqué que certaines espèces ont été stimulées par les ions H^+ ; chez Leucaena leucocephala il y a eu développement d'une deuxième feuille au détriment de la taille. Les feuilles de Cajanus Cajan placées dans la solution acide avaient la coloration plus foncée que chez les autres plantules. Chez Millettia versicolor, il y a eu présence des taches brunes et noirâtres respectivement sur le collet et les racines.

III.3. Tolérance à l'aluminium.

Les indices de tolérances des espèces végétales soumises à l'aluminium sont données au tableau 3.

D'après le tableau 3, pour la tolérance à l'aluminium, l'indice de tolérance (It) se présente dans l'ordre décroissant: Sesbania sesban > Leucaena leucocephala >

Millettia versicolor > Cajanus cajan > Albizia Chinensis
L'indice de tolérance varie de 52 à 164%.

Le poids frais de la partie aérienne par rapport au témoin (P.F.A.T) varie respectivement dans l'ordre décroissant suivant: Leucaena leucocephala > Millettia versicolor > Cajanus cajan > Sesbania sesban > Albizia chinensis tandis que les poids sec aériens relatif par rapport au témoin (P.S.A.T.) varient dans l'ordre décroissant ci-après: Sesbania sesban > Leucaena leucocephala > Cajanus cajan > Millettia versicolor > Albizia chinensis (Tableau 4 et 6). Le P.S.A.T. varie de 350 à 33%.

De ce qui précède, on remarque que les espèces présentant plus les tissus lignifiés ont des poids secs aériens plus élevés que celles qui n'en ont pas. Il ressort du tableau 5 que le poids frais racinaire par rapport au témoin, est de 20 %, 78% et 58% respectivement pour Sesbania sesban, Cajanus cajan, et Millettia versicolor.

Nous avons constaté des taches brunes et parfois de brûlures sur les racines et collets de Sesbania sesban et Cajanus cajan. Ceci pourrait être logique dans la mesure où ce sont les racines qui sont les premières à souffrir de stress aluminique, car l'aluminium s'y accumule alors que les teneurs augmentent moins dans les parties aériennes. (SEGALEN, 1973).

On a remarqué ensuite que le développement de la deuxième feuille de Leucaena leucocephala a été stimulé par l'aluminium, mais par contre la grandeur des feuilles a sensiblement diminué par rapport à celle de la même espèce soumise aux autres solutions nutritives.

Les classements des It, des biomasses aériennes et racinaires ainsi que des poids frais et secs par rapport au témoin révèlent clairement que Sesbania sesban et Leucaena leucocephala sont les mieux indiquées comme tolérantes à l'aluminium.

Selon GAKURU, 1989, les variétés avec un It bas ont aussi en général des valeurs basses de P.A.R et P.R. A.R. Nos résultats le prouvent amplement, car Albizia Chinensis qui a un très faible It, a aussi de basses valeurs de P.S.A.T. et P.F.A.T.

III.4. Tolérance au Manganèse.

Les indices de tolérances des espèces végétales au manganèse sont données au tableau 3.

D'après le tableau 3, l'It au Mn varie de 4 à 128, pour les quatre espèces; celui de Sesbania sesban n'a pas été pris. Leucaena leucocephala et Cajanus cajan se révèlent tolérantes au Mn (It Mn/T respectivement 128 et 117. En revanche, Millettia versicolor et Albizia chinensis sont très sensibles au manganèse.

Les résultats du tableau 4 montrent que le poids frais de la partie aérienne par rapport au témoin (P.F.A.T) varie de 27 à 106. Leucaena leucocephala et Millettia versicolor ont respectivement le P.F.A.T de 106 et 80 %. Tandis qu'au tableau 6, le poids sec aérien relatif au témoin varie de 50 à 105. Leucaena leucocephala et Millettia versicolor ont respectivement le P.S.A.T de 105 et 102 %.

Le poids frais racinaire par rapport au témoin varie de 46 à 90%. Cajanus cajan et leucaena leucocephala ont respectivement les P.F.R.T de 90 et 60 %, suivis de Albizia chinensis 50% et de Millettia versicolor 46%.

Nous avons remarqué un faible développement végétatif de la plupart de plantules placées dans la solution où le Mn a été ajouté comme élément toxique. Sur les feuilles de Cajanus cajan, nous avons constaté des taches vert-clair vers les extrémités du limbe. Ces feuilles ont fini par être atrophiées et nécrosées.

Selon BARTUSKA et UNGAR, 1980, contrairement à l'aluminium, la toxicité manganique se manifeste usuellement d'abord dans

les feuilles et les racines peuvent être endommagées mais ce n'est qu'après les feuilles.

Pour cette expérience, les meilleures performances sont réalisées dans les 2 espèces suivantes: Leucaena Leucocephala et Cajanus cajan.

Selon GAKURU, '1988, ce sont les variétés accumulant plus de Mn dans les racines qui ont un It moins élevé et donc moins performantes. L'espèce Albizia Chinensis se révèle donc moins performante au manganèse.

CHAPITRE IV : CONCLUSIONS

Au terme de nos expériences réalisées dans la solution nutritive, diverses conclusions peuvent être tirées. Chaque espèce végétale peut manifester des variations morphologiques suivant les conditions du milieu dans lequel elle vit.

Sesbania sesban. se comporte le mieux par rapport aux autres espèces dans la solution nutritive contenant l'aluminium et aussi celle de témoin. Son indice de tolérance (It) en présence de l'aluminium est de loin supérieur à 100.

Le classement des indices de tolérance, des biomasses ^{aériennes} et racinaires ainsi que des poids frais et secs par rapport au témoin ont révélé clairement que Sesbania sesban est la mieux indiquée comme tolérante à l'aluminium. Elle est suivie de Leucaena leucocephala qui a un It Mn de 128, donc cette dernière espèce réalise des meilleures performances en présence de manganèse. Son It Al est de 134, donc supérieur à 100.

Cajanus cajan se révèle très sensible à la toxicité aluminium mais son It au Mn est supérieur à 100. Nous avons constaté comme BONNEAU et SCUCHIER (1979) que l'aluminium entraînait un ralentissement de la croissance racinaire, les racines s'atrophiaient, s'épaississaient, s'enroulaient sur elles-mêmes et prenaient un aspect coralloïde.

Notons enfin que sa biomasse souterraine était voisine de 100; même cas avec son It H⁺ et son P.S.AT qui voisinent 100 en milieu acide (en présence des ions H⁺). Bien que Millettia versicolor a un It proche de 100, il se révèle par contre très sensible au manganèse. Son P.F.AT ainsi que son P.S.AT toujours en présence de ce dernier élément sont respectivement proche et légèrement supérieur à 100; même cas est observé en milieu acide c'est-à-dire en présence des ions H⁺.

Mais nous avons constaté des taches brunes et noirâtres respectivement sur le collet et les racines des plantules placées en milieu acide.

Albizia chinensis se révèle moins performant par rapport aux quatre autres espèces. Cela est possible car selon FCY, 1976,

la tolérance des variétés peut s'exprimer à divers stades de la vie de la plante et à des moments différents.

Pour nos sols qui sont acides et dont la toxicité est simultanément causée par l'aluminium et le manganèse; nous conseillerons l'utilisation de Sesbania sesban et Leucaena leucocephala comme cultures en allées dans les jachères améliorantes. Ceci confirme les résultats des travaux antérieurs tels, que LUPUKI, 1994; KUTAKA, 1990; KAMABU, et LEJOLY, 1994; BEBWA, 1994; SUN, 1994; GAKURU, 1994 et autres.

La méthode mise au point par WILKINS (1957) convient donc pour la différenciation des légumineuses pour la tolérance aux sols acides.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARTUSKA and UNGAR, 1980.- Elemental concentrations in plant tissues as influenced by low pH Soils. Plant and Soil 55: 157-161.
- BEBWA, B, 1994; Le recyclage des éléments biogènes dans l'agro-ecosystème des cultures en allées à Kisangani (Haut-Zaïre), Annales Fac. Sciences, UNIKIS, 61-72 p.
- BOLA, M et KAMABU, V, 1994: stratégies possibles pour le transfert des cultures en allées en milieu paysan dans la région de Kisangani, Ann. Fac. Sciences, UNIKIS, N° Spécial, 107-114 p.
- BONNEAU, M et SOUCHIER, B, 1979: Pédologie. 2. constituants et propriétés du sol. Paris, New York, Barcelone, Milan, Masson, 459 p.
- DUCHAUFOR, Ph. 1970. Précis de Pédologie. Paris; MASSON & Cie, 481 p.
- DUPRIEZ, H et Deleener, P, 1993: Arbres et agricultures multi-tagées d'Afrique. Terres et vie, C.T.A., 217-264 p.
- DU VIGNEAUD, P. et DENAEYER-DE SMET, S. 1973.- Considérations sur l'écologie de la nutrition minérale des tapis végétaux naturels. Ecolog. Plant., 8,(3), 219-246.
- FOY, C. D, 1976. General Principles Involved in Screening Plants for aluminium and Manganese Tolerance. In WRIGHT M. J. editor, PP 255-275.
- GAKURU, S, 1988, Différenciation génotypique pour la tolérance aux facteurs d'acidité du sol chez les variétés Zaïroises de Zea mays L., Thèse de doctorat. UNIV. Libre de Bruxelles, 170 P.
- GAKURU, S, 1994, Tolérance différentielle à l'acidité du sol de quelques légumineuses des jachères améliorantes, Ann. Fac. Sc., UNIKIS, N° Spécial 101- 106 p.
- HECHT-BUCHHOLZ, ch. and Foy, C.D. 1981, Effet of Aluminium Toxicity on Root Morphology of Barley. Plant and Soil 63: 93- 95.
- KAMABU, V, et BEJOLY, J, 1994. Jachères améliorantes et fertilité des sols à Kisangani, Ann. Fac. Sc., UNIKIS, N° Spécial, PP 1 - 8.
- KONZAK, C.F., ^{and KITTRICK, J-A,} POLLE, E, 1976.- Screening Several crops for Aluminium Tolerance. In WRIGHT M. J., editor. Plant Adaptation to Mineral Stress in Problem Soils. Ithaca, N-Y; Cornell university. Press. pp 311-327.
- KUTAKA, K, 1990, Comparaison de la tolérance à l'acidité des sols de quelques légumineuses des jachères améliorantes, Monographie, Fac. des Sciences, UNIKIS, 17 p. + annexes (inédit).

- LONE, A. 1986, les Oligo-éléments en agriculture. Paris, SCPA Agri-Nathan International, 339 p.
- LUPUKI, K, 1994, comportement de quelques légumineuses fixatrices d'azote vis-à-vis du caractère acide, Memoire, Fac. Sc., UNIKIS, 88p + annexes (inédit).
- MATE, M, SHUTSA, et KAMABU, Y, 1994: Croissance et biomasse des rejets d'albizia chinensis à Kisangani. Ann. Fac. des sciences, UNIKIS, N° spécial, PP 85-92
- MOSANGO, M, 1994, Intérêt des cultures en allées pour la protection des forêts denses Equatoriales, Ann. Fac. Sc., UNIKIS, n° spécial, PP 51-56.
- MOORE, D.P, FRONSTAD, W.F and ^{METZGER, R.J.} 1976, Screening Wheat for Aluminium Tolérance. In: WRIGHT M. J., editor. Plant Adaptation to mineral stress in problem soils. I thaca, N-Y; Cornell university Press, pp. 287-296.
- NYAMANGOMBE, L. and LEFEBVRE, C, 1985. Aluminium Tolerance in Zea mays varieties from central Africa and Europe. Cereal Resear R communication (314): 429-432.
- NYAKABWA, M, 1976, La flore urbaine de Kisangani, Mémoire inédit, Fac. des sciences, UNIKIS, p.
- PENNINCKX, J, 1994, La fixation d'azote et son intérêt en régions tropicales, Ann. Fac. des Sciences UNIKIS, n° spécial, pp 23-28.
- RHODES, E. K, 1978. The solubility of manganese in some acid soils of the tropics. Plant and soil. 49: 697-701.
- RHUE, R. D et GROGAN, C.O, 1976.- Screening corn for Aluminium tolerance. In WRIGHT M. J., editor. Plant Adaptation to mineral stress in Problem soils. I thaca, N-Y, Cornell university Press, pp. 297-310.
- ROBERT, R and al, 1981.- Biometry, state university of New York at stony book, 2è ed, pp 51-53.
- SEGALEN, P. 1973.- L'aluminium dans les sols. Paris; ORSTOM; 281 p.
- SIMON, E. et LEFEBVRE, C. 1977: Aspects de la tolérance aux métaux lourds chez Agrostis tenuis Sibth., Festuca ovina et armeria maritima (Mill) Willd. OECOL Plant, 12 (2), 95-110.
- SINSIN, B, 1994, Perspectives offerts par l'agroforesterie en Afrique tropicale, Annales Fac. des sciences, UNIKIS, 9-22 p.

Tableau 2 : pH des solutions avant et après l'expérimentation.

! E S P E C E S !	! TRAITEMENT !	! PH avant !	! pH après !	! Δ pH !
! 1. <u>Albizia chinensis</u> !	! Témoin !	! 6,80 !	! 7,42 !	! 0,42 !
! !	! H ⁺ !	! 4,77 !	! 6,75 !	! 1,98 !
! !	! Al !	! 4,85 !	! - !	! - !
! !	! Mn !	! 5,22 !	! 7,60 !	! 2,38 !
! 2; <u>Cajanus cajan</u> !	! Témoin !	! 6,80 !	! 7,73 !	! 0,93 !
! !	! H ⁺ !	! 4,77 !	! 6,72 !	! 1,95 !
! !	! Al !	! 4,85 !	! 5,92 !	! 1,07 !
! !	! Mn !	! 5,22 !	! 7,79 !	! 2,57 !
! 3. <u>Leucaena leucocephala</u> !	! Témoin !	! 6,80 !	! 7,98 !	! 1,18 !
! !	! H ⁺ !	! 4,77 !	! 6,76 !	! 1,99 !
! !	! Al !	! 4,85 !	! 5,36 !	! 0,51 !
! !	! Mn !	! 5,22 !	! - !	! - !
! 4. <u>Millettia Versicolor</u> !	! Témoin !	! 6,80 !	! 7,61 !	! 0,81 !
! !	! H ⁺ !	! 4,77 !	! 6,76 !	! 1,99 !
! !	! Al !	! 4,85 !	! 5,80 !	! 0,95 !
! !	! Mn !	! 5,22 !	! 7,46 !	! 2,24 !
! 5. <u>Sesbania sesban</u> !	! Témoin !	! 6,80 !	! 8,02 !	! 1,22 !
! !	! H ⁺ !	! 4,77 !	! 6,76 !	! 1,99 !
! !	! Al !	! 4,85 !	! 5,51 !	! 0,66 !
! !	! Mn !	! 5,22 !	! 8,13 !	! 2,91 !
! !	! !	! !	! !	! !

Légende: Δ pH: Différence de pH après et avant la mise en solutions.

- : les mesures n'ont pas été prises.

Tableau 3 : Indices de tolérance de cinq (5) espèces végétales soumises aux différents stress.(%).

! E S P E C E S	! It H ⁺ /T	! It Al/T	! It Mn/T	!
! 1. <u>Albizia chinensis</u>	! 44	! 52	! 4	!
!	!	!	!	!
! 2. <u>Cajanus cajan</u>	! 72	! 102	! 117	!
!	!	!	!	!
! 3. <u>Leucaena leucocephala</u>	! 47	! 134	! 128	!
!	!	!	!	!
! 4. <u>Millettia versicolor</u>	! 90	! 110	! 50	!
!	!	!	!	!
! 5. <u>Sesbania sesban</u>	! -	! 164	! -	!
!	!	!	!	!

- Légende: - It H⁺/T : L'indice de tolérance à H⁺ par rapport au témoin .
- It Al/T : L'indice de tolérance à l'Al par rapport au témoin.
- It Mn/T : L'indice de tolérance à Mn par rapport au témoin.
- : les mesures n'ont pas été prises.

Tableau 4 : Poids frais de la partie aérienne et leur poids frais relatif par rapport au témoin de cinq (5) espèces végétales soumises aux différents stress (en gr.)

! E S P È C E S	! TRAITEMENT	! NOMBRE	! P.F.A (gr)	! P.F.T. (%)
! 1. <u>bizia Chinensis</u>	! Témoin	! 10	! 0,33	! -
!	! H ⁺	! 10	! 0,09	! 27
!	! Al	! 10	! 0,08	! 24
!	! Mn	! 10	! 0,09	! 27
! 2. <u>Cajanus cajan</u>	! Témoin	! 10	! 2,57	! -
!	! H ⁺	! 10	! 1,98	! 77
!	! Al	! 10	! 1,84	! 71
!	! Mn	! 10	! 1,75	! 68
! 3. <u>Leucaena leucocephala</u>	! Témoin	! 6	! 1,22	! -
!	! H ⁺	! 6	! 1,29	! 105
!	! Al	! 6	! 1,41	! 115
!	! Mn	! 6	! 1,30	! 106
! 4. <u>Millettia vesicolor</u>	! Témoin	! 10	! 19,54	! -
!	! H ⁺	! 10	! 15,9	! 81
!	! Al	! 10	! 14,9	! 76
!	! Mn	! 10	! 15,7	! 80
! 5. <u>Sesbania sesban</u>	! Témoin	! 5	! 0,13	! -
!	! H ⁺	! -	! -	! -
!!	! Al	! 5	! 0,07	! 53
!	! Mn	! -	! -	! -
!	!	!	!	!

Légende : * P.F.A.: Poids frais de la partie aérienne

* P.F.A.T.: Poids frais de la partie aérienne par rapport au témoin.

* - : les mesures n'ont pas été prises.

Tableau 5 : Poids frais des racines et leur poids frais par rapport au témoin de cinq (5) espèces végétales soumises aux différents stress (gr).

! E S P E C E S	! TRAITEMENT	! NOMBRE	! P.F.R(gr)	! P.F.R.T (%)
! 1. <u>Albizia chinensis</u>	! Témoin	! 10	! 0,02	! -
	! H ⁺	! 10	! 0,02	! 100
	! Al	! 10	! 0,00	! -
	! Mn	! 10	! 0,01	! 50
! 2? <u>Cajanus cajan</u>	! Témoin	! 10	! 2,13	! -
	! H ⁺	! 10	! 1,64	! 76
	! Al	! 10	! 1,67	! 78
	! Mn	! 10	! 1,98	! 90
! 3. <u>Leucaena leucocephala</u>	! Témoin	! 6	! 0,06	! -
	! H ⁺	! 6	! 0,05	! 80
	! Al	! 6	! 0,03	! 50
	! Mn	! 6	! 0,04	! 60
! 4. <u>Millettia versicolor</u>	! Témoin	! 10	! 1,5	! -
	! H ⁺	! 10	! 0,73	! 48
	! Al	! 10	! 0,88	! 58
	! Mn	! 10	! 0,70	! 46
! 5. <u>Sesbania sesban</u>	! Témoin	! 5	! 0,01	! -
	! H ⁺	! 5	! -	! -
	! Al	! 5	! 0,02	! 200
	! Mn	! 5	! -	! -

Légende : * P.F.R.: Poids frais racinaire

* P.F.R.T.: Poids frais racinaire par rapport au témoin.

N.B.: - : Les mesures n'ont pas été prises.

Tableau 6 : Poids sec de la partie aérienne et leur poids sec relatif par rapport au témoin de cinq (5) espèces végétales soumises aux différents stress (en gr.)

! E S P E C E S	! TRAITEMENT	! NOMBRE	! P.S.A. (gr)	! P.S.A.T (%)
! 1. <u>Albizia chinensis</u>	! Témoin	! 10	! 0,06	! -
	! H ⁺	! 10	! 0,01	! 16
	! Al	! 10	! 0,02	! 33
	! Mn	! 10	! 0,03	! 50
! 2? <u>Cajanus cajan</u>	! Témoin	! 10	! 0,46	! -
	! H ⁺	! 10	! 0,41	! 89
	! Al	! 10	! 0,37	! 80
	! Mn	! 10	! 0,41	! 89
! 3. <u>Leucaena leucocephala</u>	! Témoin	! 6	! 0,18	! -
	! H ⁺	! 6	! 0,21	! 116
	! Al	! 6	! 0,22	! 122
	! Mn	! 6	! 0,19	! 105
! 4. <u>Millettia versicolor</u>	! Témoin	! 10	! 5,45	! -
	! H ⁺	! 10	! 4,52	! 83
	! Al	! 10	! 4,29	! 78
	! Mn	! 10	! 5,60	! 102
! 5. <u>Sesbania sesban</u>	! Témoin	! 5	! 0,02	! -
	! H ⁺	! 5	! -	! -
	! Al	! 5	! 0,07	! 350
	! Mn	! 5	! -	! -

Légende : * P.S.A.: Poids sec de la partie aérienne.

* P.S.A.T.: Poids sec aérien relatif par rapport au témoin.

N.B.: - : les mesures n'ont pas été prises.

I : Longueur racinaire de cinq (5) espèces végétales avant la mise en solution toxique (cm).

ESPÈCE	TRAITEMENT	LONGUEUR	NOMBRE PLANTULES	MOYEN	ÉCART TYPE	Coef. de variabilité
1. <u>Albizia chinensis</u>	Témoin	2,7	10	2,50	0,09	3,6
	H	2,5	10	2,01	0,30	15
	Al	2	10	1,67	0,31	18,6
	Mn	2	10	1,70	0,18	10,6
	H	2,2	10	2,52	2,5	2,5
	Al	2,2	10	2,52	2,5	2,5
2. <u>Cajanus cajan</u>	Témoin	8,5	10	4,00	2,23	55,8
	H	11	10	5,50	2,61	47,5
	Al	6,5	10	4,08	1,44	35,3
	Mn	5,5	10	2,88	1,25	43,4
	H	7,5	10	3,52	2,1	58
	Al	6,5	10	3,52	2,1	58
3. <u>Leucaena leucocephala</u>	Témoin	8,5	6	7,3	1,34	18,3
	H	13	6	10,8	2,21	20,5
	Al	10,5	6	7,2	2,52	35
	Mn	12,5	6	7,4	2,71	36,6
	H	10	6	7,5	5,5	3,2
	Al	7,5	6	6,2	5	4,5
4. <u>Millietia versicolor</u>	Témoin	5	10	3,57	1,05	29,4
	H	4,5	10	3,90	0,84	27,1
	Al	3,5	10	2,78	0,61	22,0
	Mn	3,5	10	2,30	0,59	25,6
	H	3,5	10	2,5	2,0	1,5
	Al	2,7	10	2,5	2,0	1,5
5. <u>Sesbania sesban</u>	Témoin	6,0	5	4,02	1,21	30,1
	H	5,0	5	3,40	10,86	25,3
	Al	6,5	5	4,32	11,33	30,8
Mn	3,5	5	2,28	11,04	45,6	

ANNEXE 2 : Longueur racinaire de 5 espèces végétales après la mise en solutions toxiques (cm).

E S P E C I E S	TRAITEMENT	L O N G U E U R									NOMBRE Plantuŕne	MOYEN	ECART- Type	COEFF. de var	
1. <u>Albizia chinensis</u>	Témoin	3,2	3,1	3	2,7	2,6	2,6	2,5	2,5	2,3	10	2,72	0,87	10,1	
	H ⁺	3,1	2,8	2,2	2	2	2	2	1,6	1,5	10	2,12	0,46	22,0	
	Al	3,1	2,0	2,0	2,0	1,7	1,6	1,6	1,5	1,5	10	1,80	0,52	29,0	
	Mn	2	2	1,8	1,8	1,7	1,6	1,6	1,5	1,5	1,5	10	1,70	0,18	10,8
2. <u>Cajanus cajan</u>	Témoin	15	10,2	9,7	8,5	6,5	4,7	4,5	4,5	4,2	10	6,97	3,67	52,7	
	H ⁺	16,3	15	12,1	8,5	7,1	6,2	4,5	3,5	2,1	10	7,80	4,87	62,4	
	Mn	14,2	9,5	8,5	7	6,5	6,5	6	5,2	2,6	10	7,20	2,93	40,7	
	Al	9,5	9,0	8,1	7	6,5	6	5,5	4,3	2,7	10	6,46	1,97	30,5	
3. <u>Leucaena leucocephala</u>	Témoin	14,2	13,5	13	12,1	10,3	9,5				6	12,10	1,69	14,0	
	H ⁺	14,5	14,5	13,5	13	10,5	8				6	12,30	2,35	19,2	
	Al	14,5	14,5	14	13,5	13,5	11,5				6	13,58	1,01	7,5	
	Mn	17	14,5	13,1	12,1	12,4	11,5				6	13,50	1,81	13,4	
4. <u>Millettia vesricolor</u>	Témoin	8,5	7	6	4,7	4,5	4,5	3,7	3,7	3,6	2,1	10	4,83	1,77	36,6
	H ⁺	6	6	5,2	4,5	4	3,7	3,7	3,3	3	3	10	4,24	1,08	25,6
	Al	10,5	6,3	5,1	4,2	3	3	3	2,7	2,2	1,7	10	4,17	2,48	59,6
	Mn	4,5	3,7	3,5	3	3	3	2,8	2,4	2	1,4	10	2,93	0,83	28,3
5. <u>Sesbania sesban</u>	Témoin	6,5	5,7	4,7	3,5	2,5					5	4,58	1,44	31,6	
	H ⁺	-	-	-	-	-					-	-	-	-	
	Al	6,5	6,0	5,7	4,0	4,0					5	5,24	1,04	20,0	
	Mn	-	-	-	-	-					-	-	-	-	

N.B. - : les mesures n'ont pas été prises

- - : sigification

ANNEXE 3 : Accroissement racinaire de cinq espèces végétales après la mise en solutions toxiques (cm).

E S P E C E S	TRAITEMENT	L O N G U E U R										TOTAL	MOYEN	ECART	COEFFICIENT					
												LINE	TYPE	DE	VARIAT.					
1. <u>Albizia chinensis</u>	Témoin	! 0,5	0,6	0,5	0,2	0,2	0,1	0,10	0,0,3	!	10	!	0,25	!	0,25	!	82,5	!		
	H ⁺	! 0,6	0,3	0,2	0	0	0	0	0	0	!	10	!	0,11	!	0,19	!	174,6	!	
	Al	! 1,1	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0	!	10	!	0,13	!	0,32	!	250,6	!	
	Mn	! 0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	!	10	!	0,01	!	0,03	!	300,0	!	
2. <u>Cajanus cajan</u>	Témoin	! 6,5	3,2	4,7	4,0	3,0	2,0	2,0	2,5	2,2	!	10	!	3,05	!	1,57	!	51,6	!	
	H ⁺	! 5,3	6,5	5,6	2,5	1,1	1,2	0,5	0	0	0,6	!	10	!	2,27	!	2,43	!	107,3	!
	Al	! 7,7	4,0	3,5	2,5	2,5	2,5	2	3,5	1,0	0	!	10	!	3,12	!	1,74	!	55,7	!
	Mn	! 4,0	4,5	5,1	4	3,5	3,5	3,5	3,5	2,3	1,9	!	10	!	3,58	!	0,89	!	25,0	!
3. <u>Leucaena leucocephala</u>	Témoin	! 5,7	5,5	5	4,1	3,3	5,0					!	6	!	4,76	!	0,82	!	17,4	!
	H ⁺	! 1,5	1,5	3,5	4	2,5	0,5					!	6	!	2,25	!	1,25	!	54,1	!
	Al	! 4,0	4,5	6,5	7,0	8,0	8,3					!	6	!	6,38	!	1,63	!	25,5	!
	Mn	! 4,5	5,5	5,9	6,3	7,4	7,0					!	6	!	6,10	!	0,95	!	15,7	!
4. <u>Millettia versicolor</u>	Témoin	! 3,5	2	1	1,2	1,0	1,0	0,5	1,2	1,1	0,1	!	10	!	1,26	!	0,88	!	69,7	!
	H ⁺	! 1,5	2	1,2	1,0	1,1	0,7	1,2	0,8	1	1,1	!	10	!	1,16	!	0,35	!	30,2	!
	Al	! 7,0	2,8	2,1	1,2	0,0	0,0	0,1	0,2	0,4	0,1	!	10	!	1,39	!	2,08	!	149,6	!
5. <u>Sesbania sesban</u>	Témoin	! 0,5	1,2	0,7	0,4	0						!	5	!	0,56	!	0,39	!	70,2	!
	H ⁺	!	-	-	-	-	-					!	5	!	-	!	-	!	-	!
	Al	!	0	1,0	1,7	0,5	1,4					!	5	!	0,92	!	0,61	!	66,4	!
	Mn	!	-	-	-	-	-					!	5	!	-	!	-	!	-	!

TABLE DES MATIERES.

	Pages
CHAPITRE I : INTRODUCTION	1
I.1. Présentation du sujet	1
I.2. Hypothèse de travail	2
I.3. Définition des concepts	2
I.4. Rôle de l'aluminium et du manganèse dans le plante	4
I.5. But et intérêt du travail	5
I.6. Travaux antérieurs.	6
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES	8
II.1. Matériel	8
II.1.1 Matériel biologique	8
II.1.2. Autre matériel	11
II.2. METHODES	11
II.2.1. Dispositif expérimental	12
II.2.2. Préparation de la solution nutritive	14
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION	15
III.1. pH final de la solution nutritive ..	15
III.2. Tolérance aux ions hydrogènes	15
III.3. Tolérance à l'aluminium	16
III.4. Tolérance au manganèse	18
CHAPITRE IV : CONCLUSIONS	20
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	22
TABLEAUX	24
ANNEXE	29
TABLE DES MATIERES	32